

# UC San Diego

## Oceanography Program Publications

### Title

Short-term size-specific distribution and movement patterns of juvenile flatfish in a Pacific estuary derived through length-frequency and mark-recapture data

### Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/8rf3r08h>

### Journal

Ciencias Marinas, 35(1)

### ISSN

0185-3880

### Authors

Herzka, S Z  
Griffiths, R  
Fodrie, F J  
[et al.](#)

### Publication Date

2009

### Data Availability

The data associated with this publication are available upon request.

Peer reviewed

## Short-term size-specific distribution and movement patterns of juvenile flatfish in a Pacific estuary derived through length-frequency and mark-recapture data

### Evaluación de la distribución y movimiento de lenguados juveniles en un sistema estuarino del Pacífico en escalas de tiempo cortas por medio de frecuencias de tallas y marcaje y recaptura

SZ Herzka<sup>1</sup>, R Griffiths<sup>2</sup>, FJ Fodrie<sup>3</sup>, ID McCarthy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Oceanografía Biológica, Centro de Investigación Científica y Enseñanza Superior de Ensenada (CICESE), Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, Baja California, México. E-mail: sherzka@cicese.mx

<sup>2</sup> School of Ocean Sciences, University of Wales-Bangor, Menai Bridge, Anglesey, LL59 5AB, UK.

<sup>3</sup> Scripps Institution of Oceanography, UCSD MC 0218, La Jolla, CA 92093, USA (current address: Dauphin Island Sea Lab, 101 Bienville Blvd, Dauphin Island, AL 36528).

#### Abstract

Evaluating small-scale distribution and movement patterns of juvenile fishes within estuarine systems is necessary for identifying favorable nursery habitats and adequately interpreting local instantaneous growth and mortality estimates. Fine-scale, size-specific catch per unit effort (CPUE, catch per 500 m tow) and movement of juvenile flatfish were studied in Punta Banda Estuary, Baja California, Mexico, during the summer of 2004. After dividing the estuary into five contiguous sections, habitat utilization and movement were analyzed using two complimentary approaches. We intensively surveyed the estuary throughout the summer to document the size-specific distribution of flatfishes. California halibut and diamond turbot were captured throughout the estuary on all sampling dates, indicating that the entire system serves as habitat for juveniles. Multiple regression analysis indicated that the CPUE of California halibut was significantly and negatively related to temperature and depth, although the model exhibited low explanatory power. In contrast, the CPUE of diamond turbot was only significantly and negatively related to depth. CPUE was not related to salinity for either species. Analyses of site- and time-specific length-frequency distributions indicated movement by all flatfishes on the time scale of weeks, which is likely due to the estuarine emigration of fish >140 mm standard length. In addition, an estuary-wide mark-recapture study was performed. Visible elastomer implants were used to tag 697 California halibut, 442 diamond turbot, and 128 spotted turbot. Based on section-specific CPUE and the area of the estuary, we tagged 3–6% of the local population of each species in a given month. Four Californian halibut and two diamond turbot were recaptured within hundreds of meters of where they were released. Hence, we observed residency and movement at the same time. This study indicates that short-term movement and its underlying causes should be taken into account when assessing patterns of juvenile habitat utilization.

*Key words:* estuarine emigration, flatfish, movement, nursery habitat.

#### Resumen

La valoración de hábitats estuarinos de crianza para juveniles de peces marinos se basa en la caracterización de patrones de distribución en relación a condiciones ambientales y en la estimación de tasas de crecimiento y mortalidad. Sin embargo, el movimiento de individuos entre hábitats puede desvirtuar la relación entre la calidad de un hábitat y estos parámetros. En este estudio se caracterizaron los patrones de utilización de hábitat en un sistema estuarino en escalas de tiempo y espacio cortas. Se cuantificó la captura por unidad de esfuerzo (captura por arrastre de 500 m; CPUE) en diferentes secciones del Estero de Punta Banda, Baja California (México), y se evaluó el movimiento con dos estrategias complementarias: el análisis de frecuencias de tallas y un estudio de marcaje y recaptura. El estero se dividió en cinco secciones contiguas que abarcaban todo el sistema. Se hicieron censos en junio, julio y agosto de 2004. Se capturaron juveniles de lenguado de California y platija diamante en todos los censos y secciones del estero, lo cual indica que todo el estuario sirve de hábitat para los juveniles. Mediante análisis de regresión múltiple se encontró una relación significativa negativa entre la CPUE del lenguado de California y la temperatura y profundidad. Para la platija diamante se encontró una relación significativa negativa con la profundidad. Para ambas especies, el modelo explicó un bajo porcentaje de variabilidad y no se detectó relación entre CPUE y salinidad, lo cual indica que estos parámetros no influyen en la distribución de los juveniles. Las distribuciones de frecuencias de tallas sugieren emigración de juveniles de longitud estándar >140 mm. Se marcaron 697 lenguados de California, 442 platijas diamante y 128 platijas moteadas con marcas visibles elastoméricas. Con base en la CPUE y el área de cada sección, se marcó de 3–6% de la población de cada especie cada mes. Se recapturaron cuatro lenguados de California y dos platijas diamante en la misma sección del estero donde fueron liberados. Se obtuvo evidencia tanto de movimiento como de residencia. Este estudio indica que es necesario caracterizar el movimiento en escalas de tiempo cortas como parte de la evaluación de patrones de utilización de hábitat.

*Palabras clave:* emigración estuarina, hábitat de crianza, movimiento, peces planos.

## Introduction

Many flatfish species spend the early part of their lives in coastal areas, and estuaries are often identified as important nursery grounds (Gibson 1997). Because estuaries are complex and dynamic environments, the interplay of biotic and abiotic factors such as salinity, freshwater inflow, oxygen levels, turbidity, depth, food availability, predation pressure, and recruitment affect the distribution and abundance patterns of juvenile flatfishes (reviewed by Able *et al.* 2005). Consequently, patterns of flatfish estuarine habitat utilization vary spatially, temporally, and ontogenetically (Armstrong 1997, Howell *et al.* 1999, Goldberg *et al.* 2002).

Studies of nursery habitat value for juvenile fishes in estuarine environments often assume that distribution patterns and, more importantly, that growth and mortality estimates obtained from “instantaneous” collections of organisms represent overall patterns over longer temporal scales; however, movement of individuals can confound instantaneous assessments of nursery habitat value. The underlying causes for individual juvenile fish movements in estuarine systems can be related to resource-directed dynamics within and among home ranges, as well as the process of estuarine immigration and emigration (non-resource mediated migration, *sensu* Dingle 1996). Hence, studies that evaluate movement and migration of juvenile fishes within estuaries over fine temporal and spatial scales are crucial to understanding how these systems are used as nurseries and to the quantification of habitat value (Saucerman and Deegan 1991, Beck *et al.* 2001, Burrows *et al.* 2004).

Within estuarine and coastal systems of the Pacific coastline, flatfish are important members of the ichthyofaunal community (Allen 1990; Kramer 1990, 1991a; Rosales-Casián 1997; Allen *et al.* 2006). We focused on the juvenile stages of California halibut (*Paralichthys californicus*), diamond turbot (*Pleuronichthys guttulatus*, previously *Hypsopsetta guttulata*), and spotted turbot (*Pleuronichthys ritteri*). These three species spawn in coastal areas and have a relatively short larval period; metamorphosis occurs between 7 and 10 mm standard length (Moser 1996). These species spawn throughout the year, although larval abundance is highest during the winter for California halibut and diamond turbot, and during the summer for spotted turbot (Moser 1996). All three make use of estuaries during the juvenile stage and are considered marine migrants by Allen *et al.* (2006).

Our primary objective was to evaluate whether there was evidence of size-specific movement of individuals among contiguous sections of a Pacific coastal estuary over the time scale of weeks. This was achieved in two ways: (1) examination of section-specific length-frequency distributions throughout the summer of 2004, and (2) estimates of dispersal distances obtained from recaptured (tagged) individuals. We also examined whether different sections of the estuary were occupied by specific species or size classes, and if there was a relationship between flatfish abundance and temperature, salinity, and depth during summer conditions.

## Introducción

Muchas especies de peces planos utilizan hábitats costeros durante sus fases tempranas de desarrollo. Los sistemas estuarinos suelen ser considerados zonas de crianza importantes (Gibson 1997). Los estuarios son sistemas complejos y dinámicos donde la interacción entre variables bióticas y abióticas, como salinidad, aportes de agua dulce y niveles de oxígeno disuelto, alimento, depredación y reclutamiento influyen sobre la distribución y abundancia de peces juveniles (ver revisión en Able *et al.* 2005). En consecuencia, los patrones de utilización de hábitat estuarino varían en diversas escalas espaciales y temporales, así como en función de la ontogenia (Armstrong 1997, Howell *et al.* 1999, Goldberg *et al.* 2002).

El movimiento de individuos entre hábitats puede influir sobre estimaciones instantáneas de abundancia, crecimiento y mortalidad y, por ende, sobre la valoración de la calidad de un hábitat en particular. El movimiento de los juveniles de peces marinos dentro de los sistemas estuarinos puede ocurrir en respuesta a la disponibilidad de recursos (conocido como *resource-directed dynamics*), o como consecuencia de los procesos de inmigración y emigración estuarina (*non-resource mediated migration*; *sensu* Dingle 1996). Por lo tanto, para entender la función de los sistemas estuarinos como hábitats de crianza para juveniles de peces marinos, y para poder valorar distintos hábitats, es indispensable estudiar el movimiento y la migración bajo escalas temporales y espaciales cortas (Saucerman y Deegan 1991, Beck *et al.* 2001, Burrows *et al.* 2004).

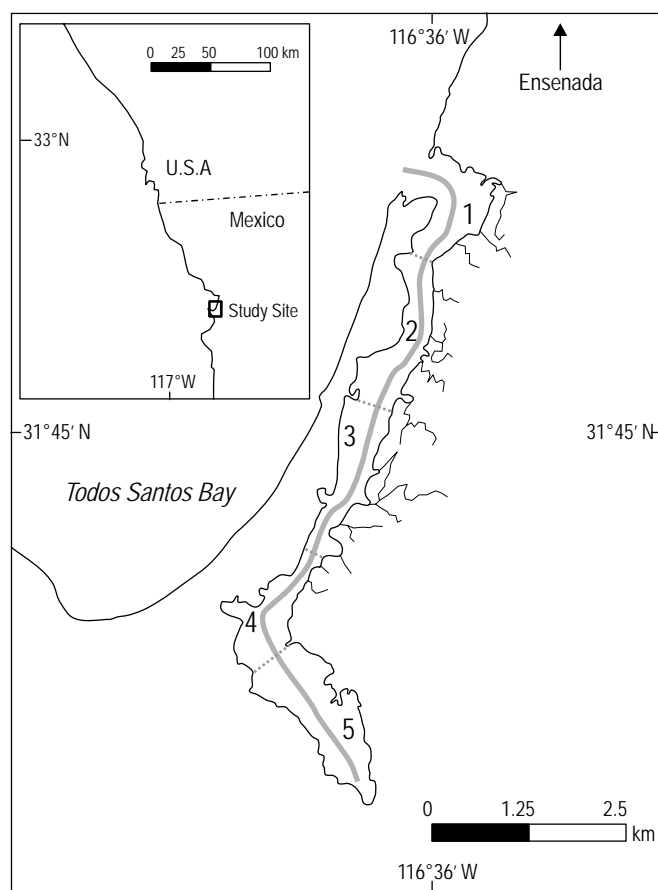
Los peces planos son un componente importante de la comunidad de peces en las zonas costeras y estuarinas del Pacífico norteamericano (Allen 1990; Kramer 1990, 1991a; Rosales-Casián 1997; Allen *et al.* 2006). En este estudio nos enfocamos en el estadio juvenil del lenguado de California (*Paralichthys californicus*), la platija diamante (*Pleuronichthys guttulatus*, previamente *Hypsopsetta guttulata*) y la platija moteada (*Pleuronichthys ritteri*). Estas tres especies desovan en aguas costeras y tienen un periodo larvario relativamente corto. La metamorfosis ocurre entre los 7 y 10 mm de longitud estándar (Moser 1996). Las tres especies desovan todo el año, aunque la abundancia de larvas es mayor en el invierno en el caso del lenguado de California y la platija diamante, y en el verano en la platija moteada (Moser 1996). Todas usan sistemas estuarinos durante su fase juvenil y son consideradas migrantes marinos por Allen *et al.* (2006).

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el movimiento de juveniles de peces planos en función de la talla. Examinamos secciones contiguas a lo largo de todo un sistema estuarino en una escala temporal de semanas durante el verano de 2004. Para evaluar el movimiento, empleamos dos estrategias complementarias: (1) se determinó la abundancia, distribución y frecuencia de tallas de juveniles capturados en diferentes secciones del sistema durante el verano y, simultáneamente, (2) se estimó la distancia de dispersión de individuos por medio de un estudio de marcaje y recaptura. También

## Material and methods

### Study site

Punta Banda Estuary (31° N, 116° W) is located on the Pacific Ocean 100 km south of the US-Mexico border (fig. 1). The estuary has a distinctive L-shaped morphology and is connected to a semi-protected coastal bay through a single inlet. The tidal regime is primarily semidiurnal, and the mean and maximum tidal ranges are 1.04 and 2.5 m, respectively. The estuary receives limited freshwater inflow and the system functions largely as a negative estuary (Pritchard *et al.* 1978). A channel 3–8 m in depth runs along the main axis of the estuary; this channel splits into two main arms within the inner estuary (see Ortiz *et al.* 2003 for a detailed bathymetry of the system). Depths outside the main channels are <2 m. Most of the submerged habitat available to flatfish is unvegetated, although there are patches of *Zostera marina* in the central estuary and



**Figure 1.** Map of Punta Banda Estuary, Baja California, Mexico. The numbers indicate the sections used to divide the estuary for sampling purposes. The gray line indicates the position of the estuary's main channel, with depths of 3–8 m.

**Figura 1.** Mapa del Estero de Punta Banda, Baja California, México. Los números indican las secciones en que se dividió el estero para fines de muestreo. La línea sólida gris indica la posición del canal principal dentro del sistema, que tiene una profundidad de 3–8 m.

se analizó si la abundancia relativa variaba en función de la talla y la zona del sistema, y si había una relación entre la abundancia de juveniles y la temperatura, salinidad y profundidad durante las condiciones más cálidas del año.

## Materiales y métodos

### Zona de estudio

El Estero de Punta Banda (31° N, 116° O) se encuentra en el Pacífico mexicano, 100 km al sur de la frontera México-Estados Unidos (fig. 1). Tiene forma de L y está conectado con la Bahía de Todos Santos a través de un solo canal en su extremo norte. El régimen de mareas en la zona es principalmente semidiurno, y los rangos medio y máximo de mareas son de 1.04 y 2.5 m, respectivamente. Por lo general, el Estero de Punta Banda recibe una cantidad limitada de agua dulce, por lo cual se considera un estuario negativo (Pritchard *et al.* 1978). Un canal de profundidad de *ca.* 8 m cerca de la boca hasta <3 m hacia el interior del sistema se extiende a lo largo de su eje principal (ver Ortiz *et al.* 2003 para una batimetría detallada). Fuera del canal principal el estero es muy somero y tiene profundidades <2 m. La mayoría del hábitat disponible para juveniles de peces planos está libre de vegetación, aunque hay pequeñas praderas de *Zostera marina* en la zona central del estero y hay marismas que rodean el sistema. El fondo es arenoso cerca de la boca, y limoso hacia el interior del estero (Ortiz *et al.* 2003).

### Abundancia espacial y temporal de peces planos

Para evaluar los patrones de utilización de hábitat en escalas cortas de tiempo y espacio, el estero se dividió en 5 secciones contiguas (fig. 1). Cada sección tenía una longitud similar a lo largo del eje principal. Los censos se llevaron a cabo durante tres periodos de cinco días cada uno durante el verano de 2004: 21–23 y 25–26 de junio, 5–9 de julio y 9–13 de agosto. Los muestreos se hicieron durante la transición entre mareas muertas y vivas. Durante junio y julio los arrastres se hicieron entre las 9 a.m. y 2 p.m. para permitir el marcaje y recaptura de juveniles por la tarde ( $n = 4–10$  arrastres por día; tabla 1). Por lo general, el nivel de marea era bajo durante la mañana y más alto por la tarde. En agosto los arrastres se efectuaron a lo largo del día ( $n = 6–18$  por día). Las predicciones de los niveles de mareas para las fechas de muestreo se encuentran en <http://oceanografia.cicese.mx/predmar/>.

Durante cada mes se censó una sola sección del estero por día. Los arrastres se hicieron a distintas profundidades y en diferentes zonas con el fin de obtener una estimación representativa de los patrones de utilización de hábitat. Sin embargo, en la sección más interna del estero (sección 5), los arrastres se hicieron sólo en el canal principal, ya que la profundidad era muy somera en otras zonas. Se trató de evitar zonas con vegetación sumergida durante los arrastres.

Los juveniles fueron capturados con un red de arrastre de prueba o *chango* camarero de 7.6 m de ancho y con luz de

tidal marshes along the banks. The bottom is sandy towards the inlet and becomes increasingly silty towards the head of the estuary (Ortiz *et al.* 2003).

#### *Spatial and temporal abundance of flatfish*

To evaluate fine-scale spatial and temporal variability in habitat use, we divided the system into five contiguous sections. Each section was of roughly equal length along the main axis of the estuary (fig. 1). Sampling took place during three five-day sampling periods during the summer of 2004: 21–23 and 25–26 June, 5–9 July, and 9–13 August. All sampling intervals occurred during the transition from spring to neap tides. Tows were conducted from 9 a.m. to 2 p.m. during June and July to allow for the mark and release of individuals in the afternoon ( $n = 4–10$  tows per day; table 1). Tidal level was usually lowest during the beginning of the sampling and reached the lower high tidal level early in the afternoon. In August,

malla de 2.5 cm en el cuerpo y 0.5 cm en el copo (Fodrie y Mendoza 2006). Los arrastres se hicieron a  $3 \text{ km h}^{-1}$  por 10 min, cubriendo una distancia aproximada de 500 m. Se trató de mantener una profundidad consistente durante cada arrastre. Con un GPS se registraron las coordenadas correspondientes al inicio y final de cada arrastre y la distancia cubierta. La abundancia fue estandarizada a 500 m y se reporta como captura por unidad de esfuerzo (CPUE). Los juveniles se identificaron y se midió su longitud estándar (LE, mm) inmediatamente después de cada arrastre. La profundidad y la temperatura superficial se registraron con un Fishfinder Garmin, y la salinidad superficial se midió con un refractómetro.

#### *Patrones de movimiento de peces juveniles*

Se evaluó el movimiento de los juveniles de peces planos empleando dos estrategias complementarias. Primero, se utilizaron los datos obtenidos durante los censos para generar

**Table 1.** Number of juvenile flatfish tagged and released in Punta Banda Estuary during June and July 2004, number of otter trawls performed in each section of the estuary, and estimated percentage of the population of each species that was tagged. Numbers in parentheses indicate the low tide area of each section of the estuary.

**Tabla 1.** Número de juveniles de lenguado marcados y liberados en el Estero de Punta Banda durante junio y julio de 2004, número de arrastres hechos con una red de arrastre de prueba o *chango* camaronero y estimación del porcentaje de la población de cada especie que se marcó durante el estudio. Los números entre paréntesis indican el área de cada sección del estero en condiciones de marea baja.

		<i>Paralichthys californicus</i>	<i>Pleuronichthys guttulatus</i>	<i>Pleuronichthys ritteri</i>	Number of tows
Section 1 (0.54 km <sup>2</sup> )	June	66	24	10	8
	July	70	38	8	8
	August	–	–	–	16
Section 2 (0.77 km <sup>2</sup> )	June	37	63	31	4
	July	62	65	13	10
	August	–	–	–	10
Section 3 (0.70 km <sup>2</sup> )	June	61	57	22	7
	July	123	41	20	5
	August	–	–	–	18
Section 4 (0.40 km <sup>2</sup> )	June	59	42	22	7
	July	105	35	1	7
	August	–	–	–	13
Section 5 (0.64 km <sup>2</sup> )	June	47	30	1	4
	July	67	47	0	7
	August	–	–	–	6
Total		697	442	128	140
% of population tagged	June	3.4	5.8	3.7	
	July	3.6	4.9	3.4	

sampling lasted throughout the day ( $n = 6\text{--}18$  per day). The predicted tides for all sampling dates can be found at <http://oceanografia.cicese.mx/predmar/>.

During each five-day period, one day was allocated to sampling in each section. The locations of specific tows were haphazardly selected in order to sample representative regions and depths within each section, and hence obtain the best possible estimates of habitat utilization. In the innermost section of the estuary, however, sampling was limited to the main channels due to very shallow depths elsewhere. An attempt was made to avoid vegetated habitats during trawling.

Juvenile flatfish were captured using a 7.6-m wide, 9.5-m headrope length otter trawl with a mesh size of 2.0 and 0.5 cm in the body and cod-end, respectively (Fodrie and Mendoza 2006). Ten-minute trawls (approx. 500 m) were conducted at a target speed of 3 km h<sup>-1</sup> while attempting to maintain a consistent depth. GPS coordinates were recorded at the beginning and end of each trawl. The distance covered in each trawl was recorded. Catches were standardized to the number of individuals per 500 m tow and are reported as catch per unit effort (CPUE). Juvenile flatfish were identified and standard length (SL) measured to the nearest millimeter following each tow. Depth and surface temperature were estimated for each tow using an on-board fish finder, and surface salinity was measured with a refractometer.

#### *Movement patterns of juvenile flatfish*

The movement patterns of juvenile flatfish were examined using two complimentary approaches. First, we used the section- and time-specific length frequency distributions derived from the sampling described above to infer ontogenetic migration throughout the estuary. Second, an intensive mark-recapture experiment was conducted to track the movements of individual fish over the same period.

California halibut, diamond turbot, and spotted turbot juveniles were tagged with visible implant elastomer (VIE) tags (Northwest Marine Technologies, Seattle, WA, USA) during the June and July sampling periods (Griffiths 2002, Malone *et al.* 1999). Immediately after capture in the trawl, flatfish were placed in large ice chests filled with seawater aerated with battery-powered air pumps. Each day, sampling ceased after approximately 150 individuals had been captured to minimize on-board stress and mortality. Individuals were then removed from the ice chests and injected subcutaneously with the elastomer material using a hypodermic syringe. Four colors (red, yellow, green, and orange) and three different muscle locations (middle dorsal, posterior dorsal, and ventral middle) on the blind side of the fish were used to assign a unique tag for each date and section. Following tagging, fish were kept in a container filled with seawater for approximately 10 min to recover. They were monitored for ill effects such as abnormal swimming or lack of responsiveness to tactile stimuli, which were rarely observed. Individuals that exhibited abnormal behavior were not released. At the end of each day, tagged fish were

distribuciones de frecuencias de tallas para cada sección del estero y fecha de muestreo con el fin de inferir patrones de movimiento con respecto a la talla. Por otro lado, se realizó un esfuerzo intensivo de marcaje y recaptura para reconstruir el movimiento individual de peces durante el mismo periodo de tiempo.

Se marcaron juveniles del lenguado de California, la platija diamante y la platija moteada con bandas elastoméricas visibles (Northwest Marine Technologies, Seattle, Washington, EUA) durante los muestreos de junio y julio (Griffiths 2002, Malone *et al.* 1999). Después de cada arrastre y de medir la LE, los juveniles se colocaron en hieleras llenas de agua de mar provistas con aireación. Cada día, los arrastres se dieron por terminados una vez que fueron capturados unos 150 peces, con el fin de minimizar el estrés y la mortalidad por manipulación. Los individuos fueron inyectados con marcas elastoméricas de diferentes colores (rojo, amarillo, verde y naranja) de manera subcutánea en diferentes lugares del lado ciego (dorsal medio, dorsal posterior, ventral medio). Se asignaron fechas y secciones del estero a combinaciones específicas de lugar de inyección y color. Las marcas se solidifican en 24 h. Luego de marcarlos, los peces se mantuvieron en baldes con aireación para facilitar su recuperación, y se mantuvieron en observación con el fin de detectar efectos negativos como natación anormal o falta de respuesta al estímulo táctil, los cuales sólo se observaron en un número limitado de individuos que no fueron posteriormente liberados. Los demás peces se liberaron a lo largo de un transecto perpendicular al canal principal. Los transectos de liberación estaban localizados exactamente al centro de cada sección.

Los esfuerzos de recaptura se llevaron a cabo durante julio y agosto utilizando los mismos métodos descritos anteriormente. Se calculó la distancia entre el transecto de liberación y la zona de recaptura para cada individuo. Las distancias de dispersión mínima y máxima entre el punto central del transecto de liberación y el punto de recaptura se estimaron usando las coordenadas iniciales y finales del arrastre en el cual se recapturó cada individuo. Si se recapturaba un individuo durante un arrastre que cruzó el transecto de liberación, se le asignó una distancia mínima de dispersión de 0 m.

Para evaluar la retención de las marcas y si el proceso de marcaje inducía mortalidad, se mantuvo en observación por 30 días en el laboratorio una submuestra de individuos marcados ( $n = 12$ ) y sin marcar ( $n = 8$ ) colectados durante el censo de junio. Se seleccionaron veinte individuos de cada una de las dos especies más abundantes (lenguado de California y platija diamante) de manera aleatoria y se transportaron al Departamento de Acuicultura del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICSE). Los individuos se colocaron en tanques con flujo continuo de agua de mar filtrada en condiciones de temperatura y salinidad similares a las del estero. Los peces se alimentaron con una ración diaria de 2–4% de camarones misidáceos congelados (Piscine Energetics). Los tanques se limpiaron diariamente y se cuantificó la mortalidad a lo largo del experimento. A los 14 y 30 días de ser

released along pre-established transects running along the middle of each sampling section.

Recaptures were attempted during July (June releases) and August (June and July releases) using the sampling methods described above. The distance between the recapture location and the nearest point along the release transect was calculated for each recaptured individual. Minimum and maximum potential distances between the midpoint of the release transect and the location of recapture were estimated using start and end coordinates of the recapture trawl. Recaptures during a trawl that crossed the release transect were assigned a minimum distance of zero.

To evaluate tag retention and tag-induced mortality, a subset of tagged ( $n = 12$ ) and untagged ( $n = 8$ ) fish collected in June was observed for 30 days in the laboratory. Individuals of each of the two most abundant species (California halibut and diamond turbot) were randomly selected and transported to the Ensenada Center for Scientific Research and Higher Education (CICESE). Tanks were supplied with a continuous flow of filtered seawater that mimicked estuarine conditions, and were inspected and cleaned daily. Mortality was quantified throughout the experiment. Dead fish were removed and examined for tags. Juveniles were fed a daily ration (2–4% body weight) of frozen mysid shrimp (Piscine Energetics), and were inspected for presence or absence of tags after 14 and 30 days.

To generate a rough estimate of the percentage of the population that was tagged and released, we calculated area-based catch rates for each section of the estuary. CPUE was converted to area-based catch rates using a trawl width of 7.6 m. Digitized aerial photos of the estuary were imported into a Geographic Information System (GIS) database. All GIS data processing and analyses were done using ArcGIS 8.3 (ESRI®), and using the NAD27 coordinate system and Albers equal-area conic projection. Working with aerial images collected at both high and low tides, we created polygon features to represent the footprint of the estuary at both tidal levels. We used a visual basic script provided in the ArcMap software to calculate the areas and perimeters for each zone at both high and low tides. The habitat available to juvenile flatfishes during low tide derived in this study agreed with that reported by Pritchard *et al.* (1978) for Punta Banda Estuary (3.06 vs 3.61 km<sup>2</sup>, respectively). However, Pritchard *et al.*'s (1978) high-tide estimates of submerged area were higher than ours (11.63 vs 5.22 km<sup>2</sup>). While these authors included tidal marshes, we purposefully excluded them from the area calculations since they do not provide adequate habitat for juvenile flatfishes (Valle *et al.* 1999, Desmond *et al.* 2000). As most of the trawling was performed when the tidal level was relatively low (*ca* 0–75 cm above mean low water), area-based catch estimates were derived using the area of submerged habitat at low tide. Given that fish density may vary as a function of tidal level in shallow estuarine systems, our population size approximations may underestimate the extent of the true population. The percentage of the population of each species tagged in the entire estuary

transportados al laboratorio, los peces fueron sacados de los tanques y se registró la presencia y ausencia de las marcas. Asimismo, se examinaron los peces que murieron durante el experimento para ver si tenían marcas.

Con el fin de estimar de manera aproximada el porcentaje de la población de cada especie marcada en junio y julio, primero se calculó el número de juveniles por unidad de área para cada sección del estero. La CPUE se transformó en captura por unidad de área utilizando el ancho de la red de arrastre (7.6 m). Se importaron fotos digitalizadas del Estero de Punta Banda a una base de datos utilizando un sistema de información geográfica (SIG). Los datos del SIG se analizaron y procesaron usando ArcGIS 8.3 (ESRI®), usando el sistema cartográfico NAD 27 y la proyección cónica Albers Equal-Area. Se usaron imágenes capturadas en condiciones tanto de marea alta como marea baja, y se crearon polígonos representativos del perímetro del sistema en ambas condiciones de marea. Utilizando el programa ArcMap se calcularon las áreas y perímetros de cada sección del estero. La área de hábitat disponible para los juveniles de lenguado (*i.e.*, las zonas sumergidas) durante la marea baja (3.06 km<sup>2</sup>) es similar a la estimada por Pritchard *et al.* (1978; 3.61 km<sup>2</sup>) para el Estero de Punta Banda (tabla 1). Sin embargo, las estimaciones de Pritchard *et al.* (1978) de la superficie cubierta por agua durante la marea alta es mayor que la obtenida en el presente estudio (11.63 vs. 5.22 km<sup>2</sup>). Mientras que Pritchard *et al.* (1978) incluyeron las marismas que rodean al estero en sus estimaciones, nosotros las excluimos porque no constituyen hábitat adecuado para los juveniles de lenguado (Valle *et al.* 1999, Desmond *et al.* 2000). Ya que la mayoría de los arrastres se llevaron a cabo en condiciones de marea relativamente baja (0–75 cm por encima del nivel medio de la marea más baja), las estimaciones de la abundancia por unidad de área se hicieron con las áreas correspondientes a la marea baja. En sistemas estuarinos someros la densidad de los juveniles puede variar en función del nivel de marea, lo cual implica que nuestras estimaciones del tamaño poblacional probablemente subestiman el tamaño real de la población. El porcentaje de la población de cada especie que marcamos a lo largo del estero fue calculada como el número de peces marcados multiplicada por el área del estero  $\times 100$ .

#### Análisis de datos

Para evaluar si existieron diferencias en la CPUE de cada especie en función del tiempo y entre secciones del estero se utilizó análisis de varianza (ANOVA) de dos vías. Para evaluar si los datos cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza se emplearon las pruebas de Anderson Darling y Bartlett. Cuando fue necesario se empleó una transformación  $\log(x + 1)$  antes de aplicar los ANOVA. Las distribuciones de frecuencias de tallas generadas para distintos periodos de muestreo y secciones del estero se analizaron con pruebas de chi-cuadradas utilizando las siguientes clases de tallas: 21–60, 61–100, 101–140, 141–180, 181–200 y >200 mm de LE.

was estimated by dividing the number of fish tagged by the area of the estuary  $\times 100$ .

### Data analysis

Analysis of variance (ANOVA) was performed on CPUE data for each species to test for differences between sampling intervals and sections of the estuary. The Anderson-Darling and Bartlett tests were used to determine whether CPUE data complied with the assumptions of normality and homogeneity of variance. When necessary, a  $\log(x + 1)$  transformation was performed prior to ANOVA. Length-frequency data were analyzed using chi-squared tests to determine if there were differences in species-specific length-frequency distributions among sections within the estuary and among sampling intervals. The following size classes were used for chi-squared analyses: 21–60, 61–100, 101–140, 141–180, 181–220, and  $>220$  mm SL.

Backward stepwise multiple regression analysis ( $F$ -to-remove = 1) was used to examine the relationship between the CPUE of the two most abundant species (California halibut and diamond turbot) and temperature, salinity, and depth. We checked for collinearity among abiotic variables using correlation analysis, and found none were highly correlated with each other ( $r \leq 0.33$ ). The data for June, July, and August were pooled for analysis. CPUEs were  $\log(x + 1)$ -transformed. Abiotic parameters deviated only slightly from normality and, therefore, were not transformed.

## Results

### *Spatial and temporal patterns of habitat use within Punta Banda Estuary*

A total of 2352 individuals belonging to four species were captured during 140 tows. The catch was dominated by California halibut (62% of the total) and diamond turbot (32%), which were present in every section of the estuary during all three sampling periods (fig. 2). The CPUE of California halibut and diamond turbot varied significantly among sampling periods ( $F_{2, 125} = 5.99$ ,  $P = 0.005$ , and  $F_{2, 125} = 5.87$ ,  $P = 0.002$ , respectively) and sections of the estuary ( $F_{4, 125} = 3.94$ ,  $P = 0.005$ , and  $F_{4, 125} = 4.57$ ,  $P = 0.002$ , respectively); the interactions between fixed factors were not significant ( $P > 0.05$ ).

Although California halibut had a broad range of lengths (24–480 mm SL), 91% of individuals were less than 200 mm SL. Rosales-Casián (2004) performed otolith ageing of juvenile California halibut captured in the region and estimated that individuals  $\leq 180$  mm SL are young-of-the-year. Hence, most of the fish we caught were less than one year of age. The length-frequency distributions of California halibut captured throughout the estuary in June, July, and August differed significantly ( $\chi^2 = 60.2$ , d.f. = 10,  $P < 0.001$ ; fig. 3). In June, there was a bimodal (possibly multimodal) length-frequency distribution with a primary peak between 40 and 70 mm SL and a secondary peak between 140 and 170 mm SL. In contrast, in

La relación entre las CPUEs de las dos especies más abundantes y la temperatura, salinidad y profundidad se evaluó con un análisis de regresión múltiple. El análisis de corrió hacia atrás (*step-wise backward*), eliminando las variables con  $F < 1$ . Se evaluó el nivel de correlación entre variables predictivas (colinealidad), y se encontró que en ningún caso había una correlación importante ( $r \leq 0.33$ ). Para los análisis de regresión múltiple se agruparon los datos de junio, julio y agosto. Dado que los valores de las variables de predicción sólo exhibieron pequeñas desviaciones de la normalidad, éstas no fueron transformadas.

## Resultados

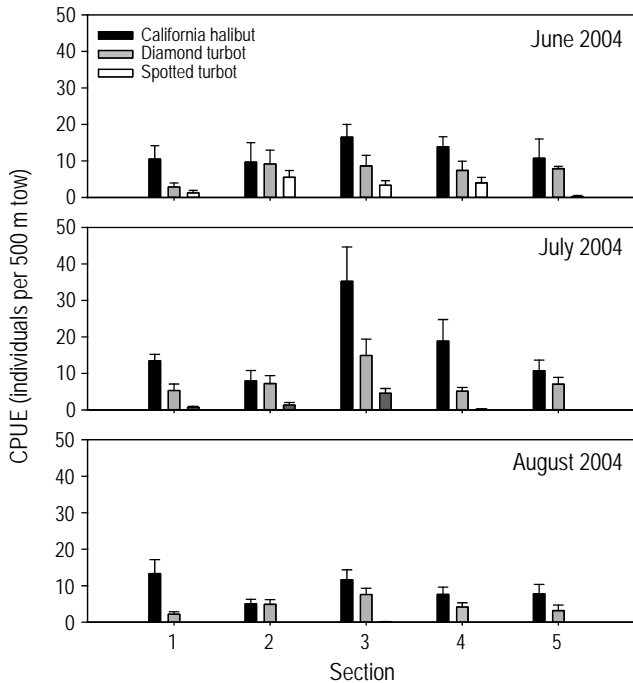
### *Patrones espaciales y temporales en la utilización del hábitat en el Estero de Punta Banda*

Se capturaron un total de 2352 lenguados juveniles de cuatro especies durante los 140 arrastres. El lenguado de California fue la especie más abundante (62% del total), seguida por la platija diamante (32%). Ambas especies fueron capturas en todas las secciones del estero durante los tres periodos de muestreo (fig. 2). Las CPUEs del lenguado de California y la platija diamante variaron significativamente entre meses ( $F_{2, 125} = 5.99$ ,  $P = 0.005$  y  $F_{2, 125} = 5.87$ ,  $P = 0.002$ , respectivamente) y zonas de muestreo ( $F_{4, 125} = 3.94$ ,  $P = 0.005$  y  $F_{4, 125} = 4.57$ ,  $P = 0.002$ , respectivamente); la interacción entre el tiempo y las secciones del estero no fue significativa en ambos casos ( $P > 0.05$ ).

Aunque se capturaron lenguados de California dentro de un amplio intervalo de tallas (24–480 mm LE), 91% tenían tallas  $<200$  mm LE. Con base en un estudio de la formación de anillos diarios en los otolitos del lenguado de California, Rosales-Casián (2004) estimó que los individuos con tallas  $<180$  mm LE tienen menos de un año de edad. Por lo tanto, la mayoría de los lenguados de California capturados en este estudio tenían menos de un año. Las distribuciones de frecuencias de tallas de los lenguados de California capturados en el estero en junio, julio y agosto presentaron diferencias significativas ( $\chi^2 = 60.2$ , g.l. = 10,  $P < 0.001$ ; fig. 3). Durante junio se observó una distribución bimodal (posiblemente multimodal), con un pico principal de 40–70 mm LE y uno secundario de 140–170 mm LE. En contraste, las distribuciones de julio y agosto fueron unimodales (40–80 mm LE en julio y 40–100 mm LE en agosto). En junio 64% de los lenguados de California tuvieron tallas  $<140$  mm LE, mientras que en agosto estas tallas representaron 82% de la captura.

El análisis de chi-cuadrada indicó diferencias significativas en la distribución de frecuencia de tallas de los lenguados de California capturados en las distintas secciones del estero cada mes ( $\chi^2 = 142$ , 74.6 y 63.8, para junio, julio y agosto, respectivamente,  $P < 0.001$  en todos los casos, g.l. = 4). Cerca de la boca del estero se observó un amplio intervalo de tallas, aunque los individuos  $>100$  mm LE fueron relativamente más abundantes. También se registraron individuos con tallas  $>100$  mm LE en la sección 2. En contraste, en la parte central del





**Figure 2.** Average catch per unit effort (CPUE  $\pm$  SE, individuals per 500 m trawl) of the three most abundant flatfish species captured in each section of Punta Banda Estuary in June, July, and August 2004.

**Figura 2.** Promedio de captura por unidad de esfuerzo (CPUE  $\pm$  EE, individuos por arrastre de 500 m) de las tres especies de lenguados más abundantes capturas dentro del Estero de Punta Banda en junio, julio y agosto del 2004.

both July and August the length-frequency distributions were unimodal (40–80 mm SL in July and 40–100 mm SL in August). In June, 64% of California halibut were  $\leq 140$  mm SL, but by August they accounted for 82% of all individuals.

Chi-squared analyses indicated significant differences between the length-frequency distributions of California halibut in the different sections of the estuary during all months ( $\chi^2 = 142, 74.6,$  and  $63.8$  for June, July, and August, respectively,  $P < 0.001$  in all cases, d.f. = 4). Close to the mouth of the estuary, a broad size range was found, although individuals  $>100$  mm SL were more abundant. Individuals  $>100$  mm SL were also dominant in section 2. In contrast, individuals  $<100$  mm SL exhibited a higher CPUE in the middle of the estuary (sections 3 and 4), while in the innermost section of the estuary there was a bimodal length distribution, with a large peak of individuals between 40 and 80 mm SL and a second smaller peak of individuals between 170 and 190 mm SL.

Diamond turbot ranged from 44 to 234 mm SL. Most (86%) of the individuals captured were between 100 and 200 mm SL. The monthly length-frequency distributions of diamond turbot captured in the entire estuary differed significantly from each other ( $\chi^2 = 219$ , d.f. = 12,  $P < 0.001$ ). For June and July, bimodal length-frequency distributions suggested two cohorts were present in the estuary, while in August a unimodal length-frequency distribution indicated only that smaller fish (120–140 mm SL) were still present (fig. 4).

estero (secciones 3 y 4) predominaron los juveniles  $<100$  mm LE, y en la zona interna la distribución fue bimodal con picos entre 40–80 y 170–190 mm LE.

El rango de tallas de la platija diamante fue de 44 a 234 mm LE; la mayoría (86%) midió entre 100 y 200 mm LE. Las distribuciones de frecuencias de tallas correspondientes a los diferentes meses de muestreo fueron significativamente diferentes ( $\chi^2 = 219$ , g.l. = 12,  $P < 0.001$ ). En junio y julio la presencia de una distribución bimodal de tallas sugiere la presencia de dos cohortes en el estero, mientras que en agosto sólo estuvieron presentes los peces más pequeños (120–140 mm LE; fig. 4).

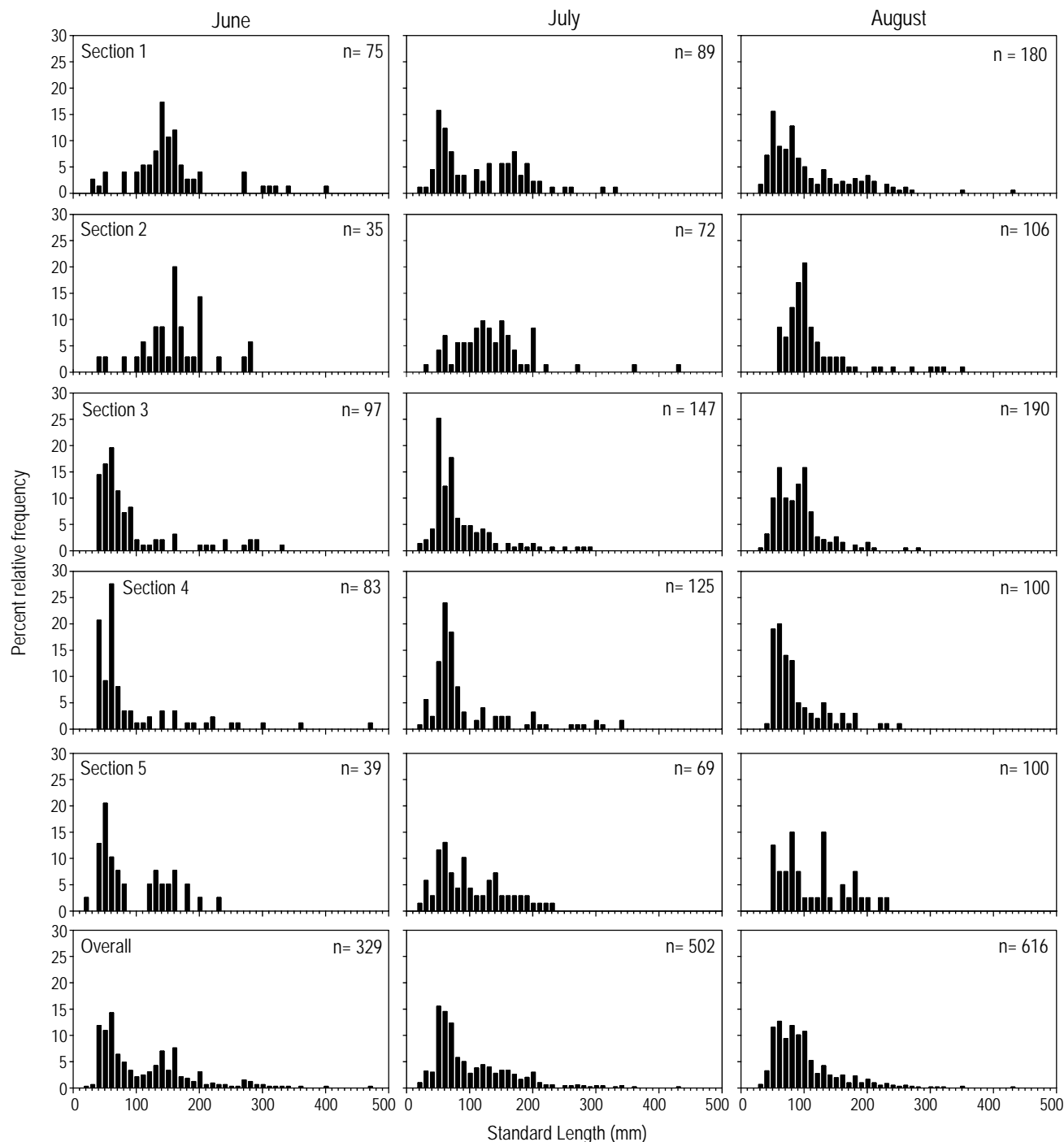
El rango de tallas de los juveniles de la platija moteada fue más limitado que el de las otras dos especies (100–198 mm LE), y el pico de abundancia relativa estuvo entre 121 y 150 mm. La mayoría de las capturas ocurrieron en la parte central del estero durante junio y en menor grado durante julio (fig. 2). Esta especie no se encontró presente en el estero en agosto. Durante todos los censos sólo se capturaron 15 lenguas californianas (*Symphurus atricaudus*, 0.06% de la captura total) con tallas de 97 a 122 mm de longitud total. Como estas dos últimas especies fueron capturadas en poca abundancia no se hicieron análisis estadísticos para evaluar su CPUE ni distribuciones de frecuencias de tallas.

#### Relación entre CPUE y parámetros abióticos

El promedio menor de temperaturas ocurrió en junio ( $21.8 \pm 0.3^\circ\text{C}$ , promedio  $\pm$  error estándar) y el mayor en agosto ( $23.4 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ). A lo largo del estero las menores temperaturas se registraron cerca de la boca ( $21.1 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ), y las mayores en la sección interna ( $24.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ). La salinidad varió entre 33.0 cerca de la boca y 39.5 hacia el interior del estero. Las dos especies de lenguado más abundantes en el estero, el lenguado de California y la platija diamante, se capturaron en un amplio intervalo de temperaturas y salinidades (20–26°C, 33.0–39.5; fig. 5). El análisis de regresión múltiple indicó para ambas especies una relación significativa entre CPUE y parámetros abióticos ( $F_{2,142} = 38.44$ ,  $P < 0.001$  para el lenguado de California y  $F_{1,143} = 40.45$ ,  $P < 0.001$  para la platija diamante). Para el lenguado de California, la CPUE tuvo una mayor relación con la profundidad que la temperatura (coeficientes  $\beta$  estandarizados =  $-0.617$  vs  $-0.101$ , respectivamente); la salinidad quedó excluida del modelo al no contribuir explicación. Para la platija diamante se encontró una relación inversa de la CPUE con la profundidad de los arrastres, y una ausencia de relación lineal con la temperatura y la salinidad. Ambos modelos explicaron sólo una proporción baja de la varianza en la CPUE ( $r^2 = 0.35$  y  $0.22$  para el lenguado de California y la platija diamante, respectivamente).

#### Patrones de movimiento de los peces planos con base a los resultados del marcaje y recaptura

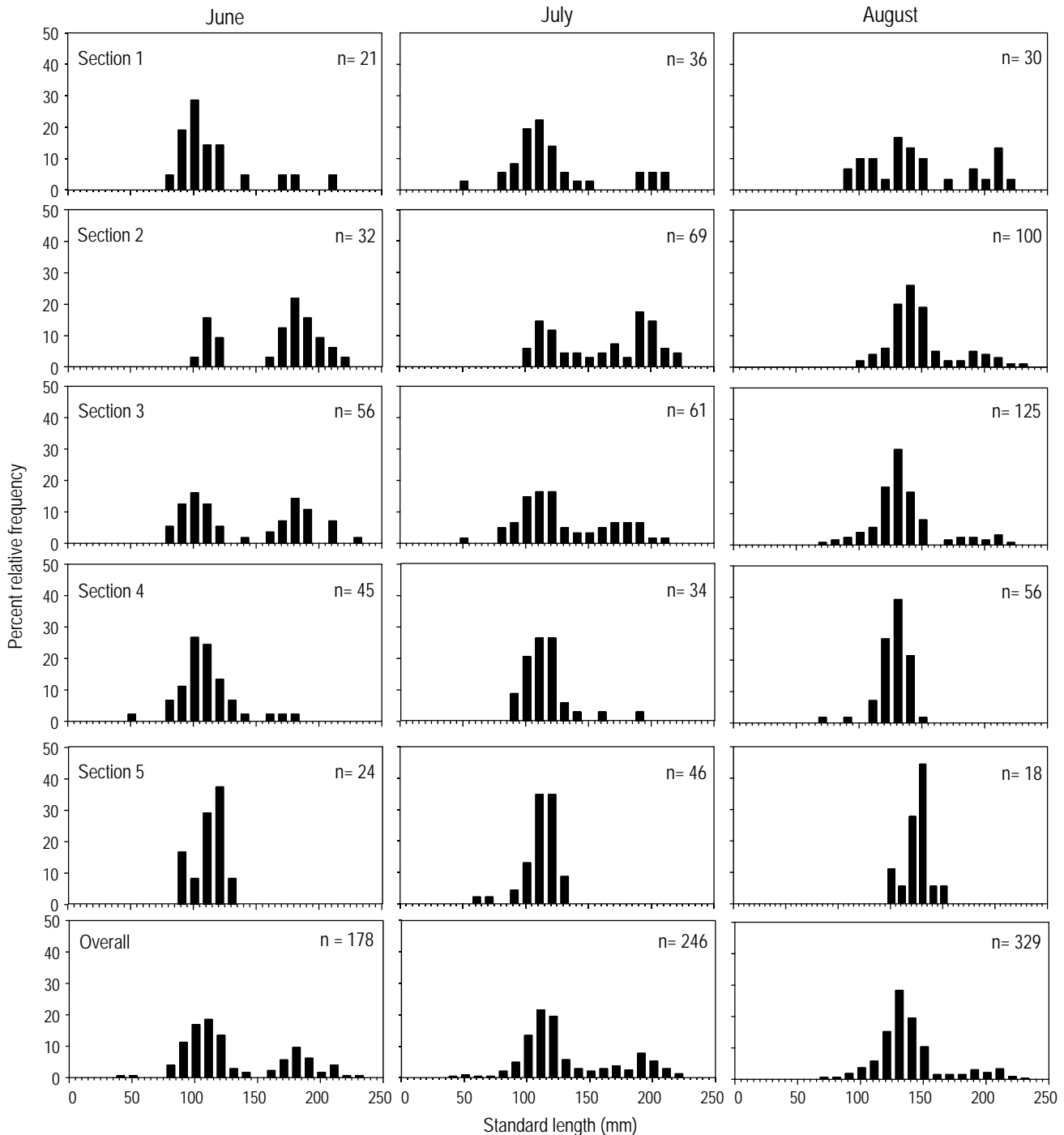
Se marcaron y liberaron un total de 1327 lenguados (697 lenguados de California, 442 platijas diamante y 128 platijas



**Figure 3.** Length-frequency histograms of California halibut (*Paralichthys californicus*) captured in Punta Banda Estuary during the summer of 2004.  
**Figura 3.** Distribuciones de frecuencias de tallas del lenguado de California (*Paralichthys californicus*) capturado en el Estero de Punta Banda durante el verano de 2004.

Spotted turbot exhibited a more restricted distribution than California halibut and diamond turbot. Most were captured toward the middle of the estuary during June and to a lesser extent July (fig. 2); none were captured in August. Sizes ranged from 100 to 198 mm SL (peak abundance between 121 and 150 mm SL). California tonguefish were the least abundant flatfish in the estuary; only 15 individuals (0.06% of the total) ranging from 97 to 122 mm total length were collected.

moteadas; tabla 1). El número de individuos liberados en cada sección del estero fue de 37–123 (promedio = 69.7) para el lenguado de California, 24–65 (promedio = 44.2) para la platija diamante y 0–31 (promedio = 12.8) para la platija moteada. Con base en las estimaciones del área de cada sección del estero y el tamaño de la población de cada especie, estimamos que logramos marcar entre 3% y 6% de la población de cada especie durante junio y julio (tabla 1).



**Figure 4.** Length-frequency histograms of diamond turbot (*Pleuronichthys guttulatus*) captured in Punta Banda Estuary during the summer of 2004.  
**Figura 4.** Distribuciones de frecuencias de tallas de la platija diamante (*Pleuronichthys guttulatus*) capturado en el Estero de Punta Banda durante el verano de 2004.

Because the spotted turbot and California tonguefish were captured in low numbers, statistical analyses for differences in habitats and size frequencies were not performed.

*Relationship between CPUE and abiotic parameters*

Mean water temperature was lowest in June ( $21.8 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , mean  $\pm$  SE) and highest in August ( $23.4 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ). The average

Se recapturaron cuatro lenguados de California y dos platijas diamante durante julio y agosto, representando una tasa de recaptura de 0.57% y 0.45% para cada especie, respectivamente. Una evaluación visual de los juveniles recapturados indicó que los peces estaban en buenas condiciones. No se recapturaron platijas moteadas. Las distancias de dispersión mínima y máxima variaron entre 0 y <700 m (tabla 2).

water temperature was lowest near the mouth ( $21.1 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ) and increased towards the head of the estuary ( $24.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ). The salinity in the estuary ranged from 33.0 to 39.5. It was lowest near the mouth and highest in the innermost reaches of the estuary. The two most abundant species, California halibut and diamond turbot, were captured over a broad range of temperatures and salinities ( $20\text{--}26^\circ\text{C}$  and  $33.0\text{--}39.5$ ; fig. 5). Multiple regression analysis indicated a significant relationship between abiotic parameters and CPUE of both species ( $F_{2, 142} = 38.44$ ,  $P < 0.001$  for California halibut, and  $F_{1, 143} = 40.45$ ,  $P < 0.001$  for diamond turbot). For California halibut, depth exhibited a greater influence on CPUE than temperature (standardized coefficient  $\beta = -0.617$  vs  $-0.101$ , respectively), and salinity was dropped from the model since it did not contribute explanatory power. For diamond turbot, only depth remained in the model, indicating the absence of a linear relationship between either temperature or salinity and CPUE. For both species, multiple  $r^2$  values indicated that the models explained a low proportion of the variance (multiple  $r^2 = 0.35$  and  $0.22$  for California halibut and diamond turbot, respectively).

#### *Movement patterns of flatfish based on mark-recapture results*

A total of 1327 flatfish were tagged and released (697 California halibut, 442 diamond turbot, and 128 spotted turbot; table 1). The number of tagged individuals released in each section of the estuary on a single day was 37–123 California halibut (mean 69.7 individuals), 24–65 diamond turbot (mean 44.2), and 0–31 spotted turbot (mean 12.8). Based on the area of each section of the estuary and the estimated population size, we tagged between 3% and 6% of the total population of the three flatfish species during June and July (table 1).

Four California halibut and two diamond turbot were recaptured in July and August (table 2), representing recapture rates of 0.57% and 0.45%, respectively. Visual examination indicated that the recaptured fish appeared to be in good condition. All were recaptured in the same section of the estuary in which they were tagged and released. No spotted turbot were recaptured. The minimum and maximum potential distances traveled by individuals ranged from 0 m (i.e., they were caught within a trawl that crossed the release transect) to  $<700$  m (table 2).

Of the 20 California halibut brought to the laboratory (12 tagged, 8 untagged), only 14 remained after 30 days. One dead fish was removed from the tanks and another five were documented as missing before the first inspection on day 14. None of the missing fish were found on the floor surrounding the tanks, and hence we suspect that cannibalism occurred. After both 14 and 30 days, 9 of the remaining 14 fish had tags. Chi-squared goodness of fit tests indicated that there were no significant differences between the number of California halibut that had tags and the expected numbers of tagged fish after 14 days ( $\chi^2 = 0.1$ , d.f. = 1,  $P > 0.05$ ) and 30 days ( $\chi^2 = 0.1$ , d.f. = 1,  $P > 0.05$ ). If cannibalism occurred, it resulted in the mortality of both tagged and control fish.

De los 20 lenguados de California que fueron transportados al laboratorio (12 marcados y 8 sin marcar), sólo 14 sobrevivieron a los 30 días. Durante la revisión a los 14 días, un pez se retiró muerto de un tanque y los otros cinco se registraron como ausentes. No se encontraron peces muertos alrededor de los tanques, por lo que se cree que hubo canibalismo. A los 14 y 30 días, 9 de los 14 peces tenían marcas. Los análisis de chi-cuadrada indicaron que no hubo diferencias entre la proporción de peces marcados al inicio y a los 14 y 30 días del experimento ( $\chi^2 = 0.1$ , g.l. = 1,  $P > 0.05$  y  $\chi^2 = 0.1$ , g.l. = 1,  $P > 0.05$ ). Si hubo canibalismo, éste llevó a la mortalidad tanto de individuos marcados como no marcados.

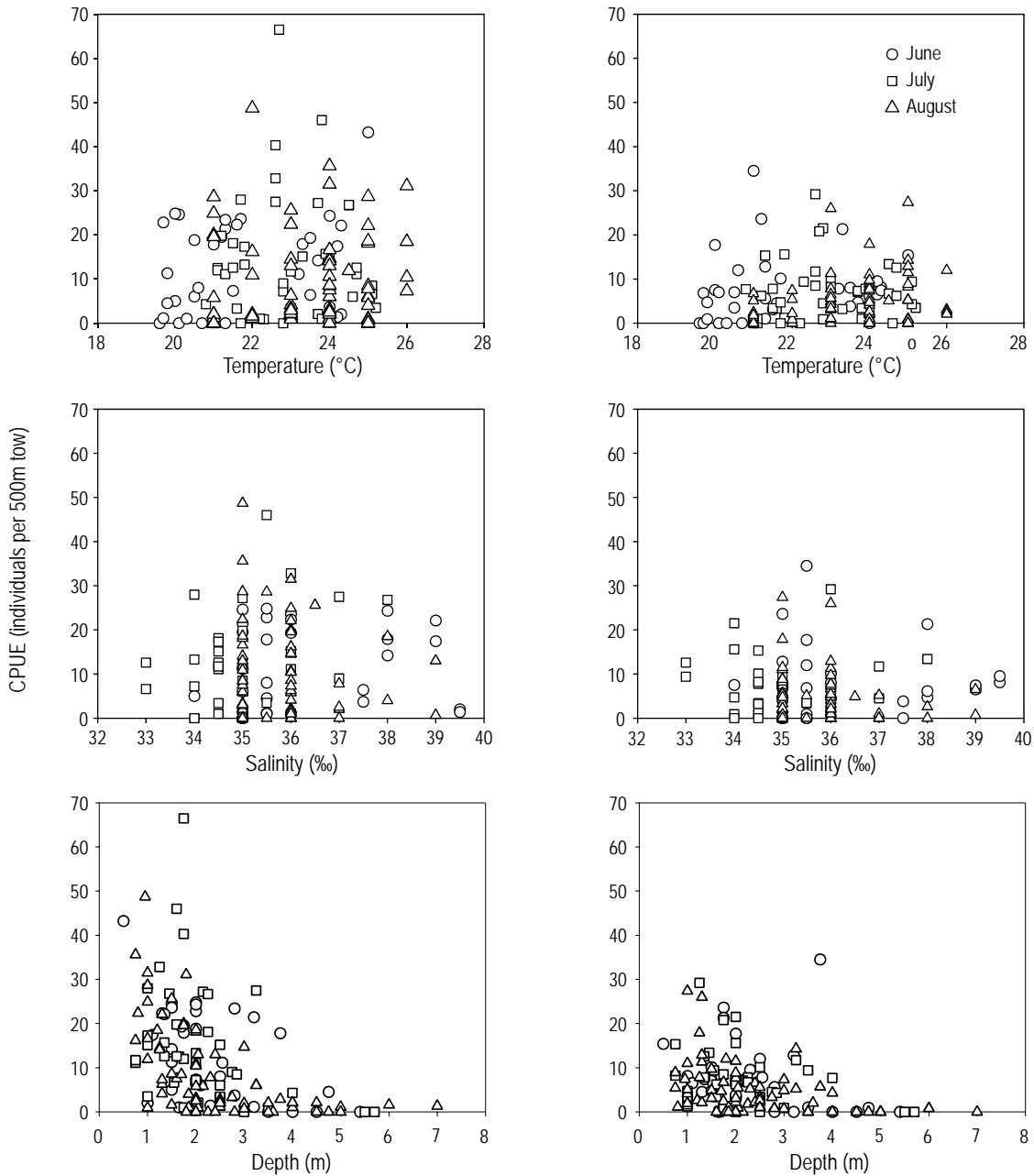
En el caso de la platija diamante, 17 de los 20 juveniles transportados al laboratorio sobrevivieron a los 30 días. Uno se encontró muerto antes de cumplirse los primeros 14 días del experimento, y dos murieron después (uno con marca y otro sin marca). Un individuo perdió la marca. A los 14 días, 11 de los 19 peces tenían marcas, y a los 30 días, 9 de los 17 restantes tenían marcas. Los resultados de la prueba de chi cuadrada indicó que no hubo diferencias significativas entre la proporción de individuos marcados a los 14 y 30 días del experimento ( $\chi^2 = 0.035$ , g.l. = 1,  $P > 0.05$  y  $\chi^2 = 0.353$ , g.l. = 1,  $P > 0.05$ , respectivamente). Por lo tanto, los resultados del laboratorio sugieren la ausencia de pérdidas sustanciales de las marcas elastoméricas empleadas en el campo.

## **Discusión**

### *Movimiento de lenguados en el Estero de Punta Banda*

En este estudio se documentó el movimiento de juveniles en dos escalas espaciales: cientos de metros (por medio de la recaptura de individuos marcados) y varios kilómetros (asociado al proceso de emigración estuarina). Según la taxonomía del movimiento propuesta por Dingle (1996), los patrones de movimiento cortos probablemente reflejan la búsqueda de recursos dentro del *home range*, o el área dentro de la cual se mueve un organismo en búsqueda de los recursos necesarios para su supervivencia y reproducción. En contraste, la emigración estuarina no ocurre en respuesta a la disponibilidad de recursos, sino que es parte de una estrategia que involucra la utilización de diversos hábitats a lo largo del ciclo de vida. Por lo tanto, es indispensable interpretar los estudios de movimiento y migración de lenguados y otras especies con estrategias similares dentro del contexto de fases particulares de ciclo de vida.

Los resultados del estudio de marcaje y recaptura sugieren que, en una escala de tiempo de semanas, una proporción de la población local del lenguado de California y la platija diamante de 120–160 mm LE exhibe un comportamiento de residencia en la misma zona del estero. Al mismo tiempo, no se recapturaron juveniles que se habían desplazado entre secciones del estero. Sin embargo, entre junio y agosto hubo una disminución en la abundancia relativa de lenguados de California y platijas diamante de tallas  $>140$  mm LE, lo cual probablemente



**Figure 5.** Catch per unit effort (CPUE, individuals per 500 m trawl) of California halibut (left panels) and diamond turbot (right panels) vs abiotic parameters measured in Punta Banda Estuary during the summer of 2004.

**Figure 5.** Captura por unidad de esfuerzo (CPUE, individuos por arrastre de 500 m) de lenguado de California (paneles izquierdos) y platija diamante (paneles derechos) vs. parámetros abióticos en el Estero de Punta Banda durante el verano de 2004.

Of the 20 diamond turbot included in the experiment, 17 survived after 30 days. One diamond turbot with a tag died during the first 14 days, and an additional two (one tagged and one control fish) died shortly after the first inspection. One individual later lost its tag. After 14 days, 11 of the 19 fish had tags and after 30 days, 9 of the remaining 17 fish had tags. A chi-squared goodness of fit test indicated that the difference between the number of tagged diamond turbot after 14 and 30 days was not significantly different to the expected number of tagged fish remaining ( $\chi^2 = 0.035$ , d.f. = 1,  $P > 0.05$ , and  $\chi^2 =$

refleja la emigración estuarina. Es posible que la mortalidad selectiva de las tallas más grandes haya contribuido a la disminución de la abundancia relativa de la CPUE. Sin embargo, estudios previos sobre el lenguado de California indican que los residentes de sistemas estuarinos tienen tallas <200 mm LE, y que la emigración estuarina ocurre a partir de los 140 mm (e.g., Haaker 1975, Allen y Herbinson 1990, Hammann y Ramírez-González 1990). Nuestros resultados concuerdan con las tallas correspondientes a la emigración estuarina reportada por otros autores. Por lo tanto, es probable que hayamos

Table 2. Individual flatfish recaptured in Punta Banda Estuary during July and August 2004. Time refers to the number of days elapsed between release and recapture. Maximum and minimum distances that individuals moved were calculated based on the initial and final coordinates of the trawl in which recaptures occurred and the midpoint of the release transect.

Tabla 2. Juveniles de lenguado recapturados en el Estero de Punta Banda durante julio y agosto de 2004. El tiempo se refiere al número de días transcurrido entre la liberación y recaptura. Las distancias máximas y mínimas de dispersión se calcularon con base en las coordenadas iniciales y finales del arrastre en que se recapturó y el punto medio del transecto de liberación.

	Standard length (mm)	Time (days)	Release section	Recapture section	Min. distance moved (m)	Max. distance moved (m)
<i>Paralichthys</i>	123	14	2	2	384	692
<i>californicus</i>	140	48	4	4	0	326
	141	13	5	5	348	676
	165	13	4	4	87	238
<i>Pleuronichthys</i>	121	13	5	5	348	676
<i>guttulatus</i>	132	35	4	4	175	499

0.353, d.f. = 1,  $P > 0.05$ , respectively). Therefore, laboratory results indicate no substantial tag loss within the 30-day period.

## Discussion

### *Short-term movement of flatfish in Punta Banda Estuary*

The movement of juvenile flatfish was documented at two spatial scales: hundreds of meters (fish recaptured close to their release location within the estuary) and several kilometers (movement related to the process of estuarine emigration). Based on Dingle's (1996) taxonomy of movement behaviors, the smaller-scale movement patterns probably reflect resource-related home-ranging behavior. In contrast, estuarine emigration does not occur in response to local resource availability, but is part of a life history strategy that allows exploitation of different habitats. Hence, studies of movement and migration patterns of flatfish and other similar species must be performed and interpreted within the framework of specific stages of the life cycle.

The results of the mark-recapture study suggest that on the time scale of weeks, some fraction of the California halibut and diamond turbot populations in the 120–160 mm SL size range remained within the same region of the estuary. Correspondingly, we did not recapture tagged individuals that had moved among sections of the estuary. Between June and August there was a decrease in the relative abundance of individuals >140 mm SL coupled with a decrease in CPUE, which likely reflects emigration from the estuary during our study. However, size-selective mortality may also have contributed to the observed decrease in the CPUE of larger individuals. California halibut estuarine residents are mostly <200 mm SL and emigration appears to start at around 140 mm SL (Haaker 1975, Allen and Herbinson 1990). Our findings are thus in agreement with previous reports (Haaker 1975, Allen and Herbinson 1990, Hammann and Ramírez-González 1990) regarding size at estuarine emigration (>140 mm SL) for

observado residencia dentro del *home range* y emigración estuarina de manera simultánea.

Otros estudios de marcaje y recaptura en lenguados han indicado un nivel limitado de movimiento. Haaker (1975) encontró que 85% de los juveniles del lenguado de California marcados dentro de la Bahía de Anaheim, en California, EUA, fueron capturados cerca de la localidad de su liberación. Los adultos de esta especie tampoco parecen moverse distancias largas (Tupen 1990, Domeier y Chun 1995, Posner y Lavenberg 1999). Algunos estudios de marcaje sobre los lenguados *Pseudopleuronectes americanus* y *Pleuronectes platessa* también indican movimientos de cientos de metros (Saucerman y Deegan 1991, Burrows *et al.* 2004).

Es importante considerar que, dado el bajo número de recapturas que logramos a pesar de nuestro esfuerzo intensivo, es imposible llegar a conclusiones robustas sobre los patrones de movimiento de lenguados individuales en función de su talla. Sin embargo, Fodrie y Herzka (2008) utilizaron micro-química de otolitos para reconstruir los patrones de movimiento de lenguados de California juveniles en el Estero de Punta Banda y la Bahía de Todos Santos, y encontraron que mientras que una fracción (43% de individuos) de la población de juveniles se mantuvo en la misma zona general del estero por periodos de dos meses, otra fracción se movió entre zonas (57% de individuos). Con base en nuestros resultados y los de Fodrie y Herzka (2008), algunos individuos se comportan como residentes, mientras que otros emigran del estero como parte del ciclo de vida y/o en respuesta a condiciones ambientales.

Las dos platijas diamante fueron recapturadas cerca de su zona de liberación, lo cual es consistente con los resultados del estudio de marcaje y recaptura hecho con esta especie por Lane (1975). Las distribuciones de frecuencias de tallas de la platija diamante a lo largo del estero y la CPUE también son consistentes con la emigración estuarina. Durante junio, la distribución fue bimodal (*ca* 90–140 y 170–230 mm LE), mientras que para agosto sólo las tallas más pequeñas se capturaron dentro del estero y la CPUE disminuyó. Además,

California halibut. We therefore observed evidence of both residency and movement out of Punta Banda Estuary.

Other tagging studies have reported limited movement of California halibut and other flatfish. Haaker (1975) found little movement of tagged juvenile California halibut in Anaheim Bay (California); 85% of individuals were recaptured near the station where they had been released. Likewise, adults do not appear to move large distances (Tupen 1990, Domeier and Chun 1995, Posner and Lavenberg 1999). Tagging studies of age zero winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) and plaice (*Pleuronectes platessa*) also indicated limited displacement on the scale of a few hundred meters (Saucerman and Deegan 1991, Burrows *et al.* 2004). Despite our intensive sampling, the low recapture rates we obtained for California halibut and diamond turbot makes it impossible to draw broad conclusions regarding the movement of individual fishes of different sizes. However, Fodrie and Herzka (2008) used otolith microchemistry to reconstruct movement of juvenile California halibut in the Punta Banda Estuary and Todos Santos Bay system, and found that while a fraction of the population (43% of individuals) remained in the same general area on the time scale of two months, others (57% of individuals) moved substantially (i.e., among sections). Based on our data and the results of Fodrie and Herzka (2008), some individuals exhibit resident behavior, while others move throughout the system and/or emigrate from the estuary in response to ontogenetic migration patterns and/or in response to environmental conditions.

Like California halibut, diamond turbot were recaptured close to their release location. This is consistent with previous tagging studies by Lane (1975). The estuary-wide length-frequency distributions of diamond turbot also suggested estuarine emigration of larger individuals. In June, there was a distinct bimodal length-frequency distribution (*ca* 90–140 and 170–230 mm SL). By August, only smaller individuals remained in the estuary and CPUE was generally lower. Moreover, the length-frequency distributions for the different sections of the estuary appear to show the progressive movement by the cohort of larger diamond turbot towards the mouth of the estuary over time. Little is known regarding the size at which estuarine emigration occurs in diamond turbot, but our data suggest that emigration takes place at around 150 mm SL (fig. 4). Spotted turbot abundance decreased drastically between June and July, and by August this species was absent from Punta Banda Estuary. Given that the sizes caught in the estuary ranged from 100 to 200 mm SL, and that size at maturity is about 150 mm (Love 1996), it is likely that individuals of this species emigrate from estuaries following maturation.

It appears that in all three species estuarine emigration takes place during the summer months. For California halibut, this agrees with the findings of Haaker (1975), who documented a sudden decrease in abundance of larger juveniles from one month to the next (April–May) in Anaheim Bay that was attributed to estuarine emigration. López-Rasgado (2006) also observed a decrease in the abundance of larger juveniles

las distribuciones de frecuencias de tallas correspondientes a diferentes secciones del estero parecen indicar el movimiento progresivo de los juveniles más grandes hacia la boca. No hay información sobre las tallas de emigración estuarina de la platija diamante, pero nuestros datos sugieren que esta inicia a *ca* 150 mm LE (fig. 4). La CPUE de la platija moteada disminuyó drásticamente entre junio y julio, y para agosto no habían juveniles dentro del estero. Dado que las tallas capturadas dentro del estero estaban entre 100 y 200 mm LE, y que la talla de madurez sexual es de 150 mm (Love 1996), es probable que esta especie emigre de los sistemas estuarinos luego de alcanzar la madurez reproductiva.

Al parecer, en las tres especies más abundantes que capturamos hay emigración estuarina durante los meses de verano. Para el lenguado de California, esto concuerda con los resultados de Haaker (1975), quien documentó una disminución repentina en la abundancia de juveniles de un mes a otro (abril a mayo) en la Bahía de Anaheim, la cual atribuyó a emigración estuarina. López-Rasgado (2006) también observó una disminución en la abundancia de los juveniles más grandes de esta especie durante el verano en el Estero de Punta Banda en un estudio de un año. Tanto en este estudio como en aquel, la emigración coincidió con las temperaturas más altas registradas dentro del estero. En este estudio la temperatura media en la zonas centrales e internas del estero se incrementó entre junio y agosto (21.4°C vs 24.1°C en la sección 3, 23.6°C vs 24.6°C en la sección 4 y 24.4°C vs 25.0°C en la sección 5). Es posible que la temperatura tenga un papel importante como detonador del proceso de emigración estuarina en el lenguado de California, así como en las platijas diamante y moteada.

#### *Evaluación del estudio de marcaje y recaptura*

La tasa de recaptura que se logró en este estudio para el lenguado de California (0.57%) es más baja que la reportada por Haaker (1975; 4.6–8.8% usando distintos tipos de marcas) para juveniles. Nuestras recapturas también fueron más bajas que las reportadas para adultos de esta especie (Domeier y Chun 1995, Posner y Lavenberg 1999). Esto puede deberse a diferencias en las estrategias de recaptura, incluyendo periodos de recaptura más largos utilizados en otros estudios y niveles de esfuerzo más altos de recaptura. Según nuestras estimaciones, sólo marcamos entre 3% y 6% de la población de cada especie en un mes dado. La mortalidad de los juveniles en función a la talla (Sogard 1997) y la emigración estuarina también pudo haber contribuido a la baja tasa de recaptura. Otra posibilidad es que el método de marcaje haya causado mortalidad excesiva o pérdida de las marcas que conlleve a bajas tasas de recaptura. Sin embargo, la evaluación de la retención de marcas en condiciones de laboratorio sugiere que ni la mortalidad ni la pérdida de marcas fueron excesivamente altas. Las marcas elastoméricas han sido usadas con éxito en otros estudios con especies de peces marinos, como *Girella elevata* (Griffiths 2002), *Gobiomorphus cotidanus* (Goldsmith *et al.* 2003), *Cryphopterus glaucofraenum* (Malone *et al.* 1999) y *Gadus morhua* (Olsen *et*

during the summer in Punta Banda Estuary during a year-long survey, which was coincident with the onset of higher temperatures during the summer months. In this study, average temperature in the central and innermost sections of the estuary increased between June and August (21.4°C vs 24.1°C in section 3, 23.6°C vs 24.6°C in section 4, and 24.4°C vs 25°C in section 5). Hence, it is possible that temperature plays an important role in triggering estuarine emigration in California halibut, as well as in diamond turbot and spotted turbot.

#### *Evaluation of the mark-recapture experiment*

The recapture rate for California halibut (0.57%) is notably lower than that reported by Haaker (1975; 8.8% and 4.6% using spaghetti clips and fin tagging, respectively), who conducted a similar study in Anaheim Bay. Our estimates are also lower than the recapture rates of studies performed on adults (Domeier and Chun 1995, Posner and Lavenberg 1999). The higher recapture rates obtained by other researchers may be related to differences in the sampling strategies employed to recapture tagged fish, including longer recapture periods and a more intensive recapture effort. In addition, we were only able to tag 3–6% of the population of each species during each sampling period. The size-selective mortality of juveniles (Sogard 1997) and the emigration of individuals out of the system may have also contributed to low recapture rates. One other possibility is that the tagging method used in this study was responsible for the low recaptures; however, the laboratory evaluation of the elastomer tags indicated that neither tag loss nor tag-induced mortality were substantial. VIE tags have also been used successfully in tagging studies involving black drummer (*Girella elevata*, Griffiths 2002), common bully (*Gobiomorphus cotidanus*, Goldsmith *et al.* 2003), bridled goby (*Cryphopterus glaucofraenum*, Malone *et al.* 1999), and Atlantic cod (*Gadus morhua*, Olsen *et al.* 2004). Hence, it is unlikely that significant tag loss influenced our results.

#### *Patterns of habitat use*

We found the highest CPUE of California halibut and diamond turbot toward the center of the estuary. Fodrie and Mendoza (2006) also found that the highest abundance of California halibut in medium-sized embayments similar to Punta Banda Estuary were often centrally located, while in smaller embayments this species tends to be more abundant near the mouth. In contrast, Hammann and Ramírez-González (1990) found that the abundance of California halibut was highest in the central section of Punta Banda Estuary, although their sampling was limited to the main channels and did not include the innermost section of the system. Valle *et al.* (1999) reported that the abundance of California halibut decreased with distance from the mouth in Alamitos Bay (California), although the highest abundance of diamond turbot was found furthest from the mouth. It is likely that spatial distribution patterns are influenced by seasonal variations in the

*al.* 2004). Por lo tanto, es poco probable que la mortalidad de peces marcados y/o la pérdida de marcas hayan resultado en las bajas tasas de recaptura.

#### *Patrones de utilización de hábitat*

Las CPUEs del lenguado de California y la platija diamante fueron más altas en la zona central del estero. Fodrie y Mendoza (2006) también encontraron que en sistemas estuarinos de tamaño similar al Estero de Punta Banda la abundancia era mayor hacia las zonas centrales, mientras que en sistemas más pequeños la abundancia era mayor cerca de las boca. Hammann y Ramírez-González (1990) reportaron mayor abundancia del lenguado de California en la región central del Estero de Punta Banda, aunque sus muestreos sólo incluyeron el canal principal y omitieron la zona interna. En contraste, Valle *et al.* (1999) encontraron que la abundancia de esta especie variaba en proporción a la distancia desde la boca de la Bahía de Alamitos en California hacia el interior del sistema. En el mismo estudio reportaron que la abundancia de la platija diamante era mayor en la parte interna de esa bahía. Es probable que los patrones de utilización de hábitat de los juveniles de lenguado estén relacionados tanto con variaciones temporales en las condiciones ambientales, como con eventos de inmigración y emigración estuarina (Kramer 1990, Kramer 1991b, Gibson 1997, Fodrie y Mendoza 2006).

Las distribuciones ubicuas del lenguado de California y la platija diamante dentro del Estero de Punta Banda, las CPUEs variables en función de la temperatura y la salinidad, y los resultados de los análisis de regresión múltiple, indican que estas variables no regulan los patrones de utilización de hábitat en estas especies en condiciones de verano. Los juveniles fueron capturados en las condiciones más cálidas y salinas del año (fig. 5; Álvarez-Borrego y Álvarez-Borrego 1982). Esto es consistente con la naturaleza tolerante de los juveniles del lenguado de California (Madon 2002, Fodrie y Mendoza 2006, López-Rasgado 2006). No conocemos estudios que evalúen el nivel de tolerancia de los juveniles de la platija diamante a la temperatura o salinidad.

La CPUE del lenguado de California y la platija diamante tuvieron una relación negativa con la profundidad; las capturas fueron más altas a profundidades menores a 2 m y se capturaron pocos lenguados a profundidades mayores a 5 m. Esto es consistente con estudios previos sobre el lenguado de California (e.g., Kramer 1991b, Fodrie y Mendoza 2006).

En conclusión, la conectividad entre hábitats dentro de los sistemas estuarinos puede ser de gran importancia si es que individuos de diferentes tallas exhiben diferentes patrones de utilización de hábitat y movimiento. El movimiento y la migración pueden desvirtuar las estimaciones locales de crecimiento y mortalidad si no se toman en consideración al valorar los hábitats estuarinos. Por lo tanto, es necesario cuantificar el nivel de movimiento y migración en escalas de tiempo y espacio finas, con el fin de interpretar adecuadamente las estimaciones de abundancia, crecimiento y mortalidad, y viceversa.



environmental conditions found among sections of the estuary, as well as by estuarine recruitment and emigration events (Kramer 1990, 1991b; Gibson 1997; Fodrie and Mendoza 2006).

The results of the multiple regression analyses, coupled with the ubiquitous distribution and variable CPUE of California halibut and diamond turbot throughout Punta Banda Estuary, indicate that the temperatures and salinities that occur during the summer months do not drive habitat utilization patterns. Juveniles were consistently caught throughout the system at temperatures and salinities that included the warmest and most saline conditions of the year (fig. 5, Álvarez-Borrego and Álvarez-Borrego 1982). This is consistent with the tolerant nature of the juvenile stage of California halibut (Madon 2002, Fodrie and Mendoza 2006, López-Rasgado 2006). To our knowledge, there are no studies regarding the temperate or salinity tolerance of juvenile diamond turbot.

The CPUE of California halibut and diamond turbot was significantly related to depth. The highest values were found in shallow water less than 2 m deep, and very few individuals were captured in water depths greater than 5 m. This agrees with previous studies on California halibut (e.g., Kramer 1991b, Fodrie and Mendoza 2006), which also identified a relationship between abundance and depth.

In conclusion, intra-estuary spatial connectivity can be widespread and important if individuals display differential habitat utilization and movement patterns based on their size. Movement and migration can substantially confound local estimates of abundance, growth, and mortality if not considered when identifying habitat value. Quantification of small-scale movement and patterns of habitat utilization are thus necessary to ensure that estimates of abundance, growth, and mortality are interpreted in the light of within-estuary movement, immigration, and emigration, and vice-versa.

## Acknowledgements

The authors thank J Mariscal, J Sandoval, A Castillo, and CICESE's Department of Research Vessels for help during the field work. CICESE's Department of Aquaculture provided the culture facilities for the maintenance of laboratory specimens. We also thank JM Domínguez for help with the preparation of figure 1 and the two anonymous reviewers for their helpful comments. This project was funded through a research grant (No. 39571) awarded to SZ Herzka by the Mexican Council for Science and Technology (CONACYT) and by a NERC studentship awarded to R Griffiths by the University of Wales at Bangor.

## References

Able KW, Neuman MJ, Wennhage H. 2005. Ecology of juvenile and adult stages of flatfishes: Distribution and dynamics of habitat associations. In: Gibson RN (ed.), *Flatfishes: Biology and Exploitation*. Blackwell Publishing, Oxford, UK, pp. 64–184.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a J Mariscal, J Sandoval, A Castillo y el Departamento de Embarcaciones Oceanográficas de CICESE por su ayuda en el campo. El Departamento de Acuicultura de CICESE brindó las instalaciones necesarias para mantener a los lenguados en el laboratorio. Se agradece a JM Domínguez el apoyo en la preparación de la figura 1. Por último, agradecemos a los dos revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias constructivas. Este proyecto es resultado del proyecto de ciencia básica No. 39571 otorgado por CONACYT a SZ Herzka y la beca estudiantil de NERC otorgada a R Griffiths por la Universidad de Gales en Bangor.

- Allen LG, Yoklavich MM, Cailliet GM, MH Horn. 2006. Bays and estuaries. In: Allen LG, Pondella I DJ, Horn MH (eds.), *The Ecology of Marine Fishes, California and Adjacent Waters*. Univ. California Press, Berkeley, pp. 119–148.
- Allen MJ 1990. The biological environment of the California halibut, *Paralichthys californicus*. In: Haugen CW (ed.), *The California Halibut, Paralichthys californicus*, Resource and Fisheries. Calif. Fish Game 74: 7–30.
- Allen MJ, Herbinson KT. 1990. Settlement of juvenile California halibut, *Paralichthys californicus*, along the coasts of Los Angeles, Orange, and San Diego Counties in 1989. CalCOFI Rep. 33: 84–96.
- Álvarez-Borrego J, Álvarez-Borrego S. 1982. Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. CalCOFI Rep. 23: 188–197.
- Armstrong MP. 1997. Seasonal and ontogenetic changes in distribution and abundance of smooth flounder, *Pleuronectes putnami*, and winter flounder, *Pleuronectes americanus*, along estuarine depth and salinity gradients. Fish. Bull. 95: 414–430.
- Beck MW, Heck Jr KL, Able KW, Childers DL, Eggleston DB, Gillanders BM, Halpern B, Hays CG, Hoshino K, Minello TJ, Orth RJ, Sheridan PF, Weinstein MP. 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. Bioscience 51: 633–641.
- Burrows MT, Gibson RN, Robb L, Maclean A. 2004. Alongshore dispersal and site fidelity of juvenile plaice from tagging and transplants. J. Fish Biol. 65: 620–634.
- Desmond JS, Zedler JB, Williams GB. 2000. Fish use of tidal creek habitats in two southern California salt marshes. Ecol. Eng. 14: 233–252.
- Dingle H. 1996. *Migration: The Biology of Life on the Move*. Oxford Univ. Press. New York, 474 pp.
- Domeier ML, Chun CDY. 1995. A tagging study of the California halibut, *Paralichthys californicus*. CalCOFI Rep. 36: 204–207.
- Fodrie FJ, Mendoza G. 2006. Availability, usage and expected contribution of potential nursery habitats for the California halibut. Estuar. Coast. Shelf Sci. 68: 149–164.
- Fodrie FJ, Herzka SZ. 2008. Tracking juvenile fish movement and nursery contribution within arid coastal embayments via otolith microchemistry. Mar. Ecol. Prog. Ser. 361: 253–265.
- Gibson RN. 1997. Behaviour and the distribution of flatfishes. J. Sea Res. 37: 241–256.
- Goldberg R, Phelan B, Pereira J. 2002. Variability in habitat use by young-of-the-year winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, in three northeastern US estuaries. Estuaries 25: 215–226.

- Goldsmith RJ, Closs GP, Steen H. 2003. Evaluation of visible implant elastomer for individual marking of small perch and common bully. *J. Fish Biol.* 63: 631–636.
- Griffiths SP. 2002. Retention of visible implant tags in small rockpool fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 236: 307–309.
- Haaker PL. 1975. The biology of the California halibut, *Paralichthys californicus* (Ayres), in Anaheim Bay, California. *Calif. Fish Game* 165: 137–153.
- Hammann GM, Ramirez-González AA. 1990. California halibut *Paralichthys californicus*, in Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. In: Haugen CW (ed.), *The California Halibut, Paralichthys californicus*, Resource and Fisheries. *Calif. Fish Game* 74: 127–144.
- Howell PT, Molnar DR, Harris RB. 1999. Juvenile winter flounder distribution by habitat type. *Estuaries* 22: 1090–1095.
- Kramer SH. 1990. Distribution and abundance of juvenile California halibut, *Paralichthys californicus*, in the shallow waters of San Diego County. In: Haugen CW (ed.), *The California Halibut, Paralichthys californicus*, Resource and Fisheries. *Calif. Fish Game* 74: 99–126.
- Kramer SH. 1991a. The shallow-water flatfishes of San Diego County. *CalCOFI Rep* 32: 128–142.
- Kramer SH. 1991b. Growth, mortality and movements of juvenile California halibut in shallow coastal and bay habitats of San Diego County, California. *Fish. Bull.* 89: 195–207.
- Lane ED. 1975. Quantitative aspects of the life history of the diamond turbot, *Hypsopsetta guttulata* (Girard). *Calif. Fish Game* 165: 153–173.
- López-Rasgado JF. 2006. Evaluación del hábitat de crianza estuarino de juveniles de lenguado de California (*Paralichthys californicus*) con base al crecimiento y la abundancia relativa. Tesis de maestría, CICESE, 120 pp.
- Love M. 1996. Probably more than you want to know about the fishes of the Pacific Coast. Really Big Press, Santa Barbara, California.
- Madon SP. 2002. Ecophysiology of juvenile California halibut *Paralichthys californicus* in relation to body size, water temperature and salinity. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 243: 235–249.
- Malone JC, Forrester GE, Steele MA. 1999. Effects of subcutaneous microtags on the growth, survival, and vulnerability to predation of small reef fishes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 37: 243–253.
- Moser HG. 1996. The early stages of fishes in the California Current region. *CalCOFI Atlas* 33. Allen Press, Lawrence, 1505 pp.
- Olsen EM, Gjøsaeter J, Stenseth NC. 2004. Evaluation of the use of visible implant tags in age-0 Atlantic cod. *N. Am. J. Fish. Manage.* 24: 282–286.
- Ortiz M, Huerta L, Hinojosa A. 2003. Transporte de sedimento por tracción de marea en el Estero de Punta Banda, BC, México. *GEOS* 23: 283–294.
- Plummer KH, DeMartini EE, Roberts DA. 1983. The feeding habits and distribution of juvenile-small adult California halibut in coastal waters off northern San Diego County. *CalCOFI Rep.* 24: 194–201.
- Posner M, Lavenberg RJ. 1999. Movement of California halibut along the coast of California. *Calif. Fish Game* 85: 45–55.
- Pritchard DW, de la Paz Vela R, Cabrera-Muro H, Farreras-Sanz S, Morales E. 1978. Hidrografía física del Estero de Punta Banda. Parte I: Análisis de datos. *Cienc. Mar.* 5:1–23.
- Rosales-Casián JA. 1997. Inshore soft-bottom fishes of the two coastal lagoons on the northern Pacific coast of Baja California. *CalCOFI Rep.* 38: 180–192.
- Rosales-Casián JA. 2004. Age and growth of young-of-the-year (YOY) California halibut (*Paralichthys californicus*), from northwestern Baja California. *Bull. South. Calif. Acad. Sci.* 103: 137–143.
- Saucerman SE, Deegan LA. 1991. Lateral and cross-channel movements of young-of-the-year winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) in Waquoit Bay, Massachusetts. *Estuaries* 14: 440–446.
- Sogard SM. 1997. Size-selective mortality in the juvenile stages of teleost fishes: A review. *Bull. Mar. Sci.* 60: 1129–1157.
- Tupen JW. 1990. Movement and growth of tagged California halibut, *Paralichthys californicus*, off the central coast of California. In: Haugen CW (ed.), *The California Halibut, Paralichthys californicus*, Resource and Fisheries. *Calif. Fish Game.* 74: 199–206.
- Valle CF, O'Brien JW, Wiese KB. 1999. Differential habitat use by California halibut, *Paralichthys californicus*, barred sand bass, *Paralabrax nebulifer*, and other juvenile fishes in Alamitos Bay. *Fish. Bull.* 97: 646–660.

*Recibido en mayo de 2008;  
aceptado en enero de 2009.*